

# Respuesta Termorregulatoria a un Dipolo de Media Onda a 1800 MHz

Miguel Ángel García Fernández, Juan Francisco Valenzuela Valdés,  
Antonio Manuel Martínez González, David Sánchez Hernández  
Dpto. de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. Universidad Politécnica de Cartagena  
Plaza del Hospital, 1. E-30202 Cartagena (Murcia) España  
Tel: + 34 968 325 376 Fax: +34 968 325 973  
E-mail: magf@alu.upct.es, juan.valenzuela@upct.es, toni.martinez@upct.es, david.sanchez@upct.es

**Resumen.** La combinación mediante software propio de las ecuaciones de Maxwell y de un modelo termorregulatorio humano proporciona tanto la Tasa de Absorción Específica como los incrementos de temperatura de un plano coronal de cabeza humana (extraído del Proyecto Humano Visible) expuesto a un dipolo de media onda a una frecuencia de 1800 MHz, para varias distancias entre el dipolo y la cabeza humana. Se evalúa el efecto en el confort térmico de los procesos termorregulatorios humanos, incluyendo metabolismo y flujo sanguíneo junto con otros mecanismos de transferencia de calor. Se presenta un efecto de adaptación entre el dipolo y la cabeza humana, así como al cráneo como protector del encéfalo ante tensiones térmicas debidas a exposición a campo electromagnético (EM). Como resultado, se podrían derivar restricciones básicas más precisas combinando los límites de TAE con la respuesta térmica debida a exposición a campo EM.

## 1 Introducción

En dosimetría electromagnética, no está completamente estandarizado el fundamento para derivar las restricciones básicas, que dependen del efecto térmico considerado para derivarlas [1]. En esta contribución, un plano coronal de cabeza humana del Proyecto Humano Visible (PHV) es expuesto a un dipolo de media onda a 1800 MHz, alineando el Punto de Referencia del Oído (PRO) con el centro del dipolo. La combinación mediante software propio de las ecuaciones de Maxwell y de un modelo termorregulatorio humano proporciona tanto la Tasa de Absorción Específica (TAE) como los incrementos de temperatura tras la exposición a campo electromagnético (EM), y sirve para evaluar la relación entre ambos. Como resultado, se podría adoptar una restricción básica más precisa combinando los actuales límites de TAE con la respuesta térmica debida a exposición a campo EM.

## 2 Métodos y Modelos

La técnica de cálculo desarrollada utiliza los algoritmos de resolución de ecuaciones diferenciales parciales de MATLAB®, elípticas para el campo EM y parabólicas para la temperatura. Para resolver el campo EM se impusieron al código propio desarrollado las condiciones de contorno correspondientes a tener un dipolo de media onda como elemento radiante y espacio libre más allá del modelo. Para resolver la temperatura se programó un modelo termorregulatorio humano siguiendo la ecuación de biocalor. Debido a las características 2D de los algoritmos de MATLAB®, para resolver el campo EM se emplearon coordenadas cilíndricas ( $\rho$ ,  $z$ ,  $\varphi$ ) y simetría en  $\varphi$ , obteniendo por separado las componentes  $E_\rho$  y  $E_z$ , siendo  $E_\varphi$  despreciable al ser la fuente de radiación un dipolo. El modelo de cabeza humana desarrollado representa un plano coronal del

PHV (incluyendo al PRO), como muestra la Fig. 1. Las propiedades eléctricas y térmicas de los materiales empleados se extrajeron de la literatura [2]. Tras buscar la distancia de adaptación de impedancias entre el dipolo y la cabeza humana para obtener el escenario de peor caso (donde la cabeza absorbe la mayor parte de la potencia emitida por la antena) se entrega al dipolo una potencia de 1 W y se analizan diversos parámetros (TAE, temperatura, potencia absorbida, potencia radiada, etc.). Finalmente, se fija a 1 W la potencia radiada al espacio libre por el dipolo, permitiendo que la potencia entregada al dipolo varíe para asegurar el cumplimiento de las ecuaciones de Maxwell. Después de calcular la TAE, se evalúa el incremento de temperatura asociado para todos los tejidos resolviendo la ecuación de biocalor [3]:

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k_T \nabla T) + \rho SAR + A_0 + B(T_b - T) \quad (1)$$

El modelo térmico desarrollado incluye difusión térmica, producción de calor metabólico y perfusión sanguínea. La ecuación  $\hat{n} \cdot k_T \cdot \nabla T = h_T \cdot (T_r - T)$  (2) establece las condiciones de contorno, teniendo una temperatura ambiente ( $T_r$ ) de 25 °C y un coeficiente de transferencia de calor por convección ( $h_T$ ) de 10.5 W/(m<sup>2</sup>·°C) para las interfaces piel-aire, y una condición de contorno adiabática, sin convección ( $h_T=0$ ), para la interfaz cuello-resto del cuerpo.

## 3 Resultados simulados

Al variar la distancia entre el dipolo y la cabeza se observan efectos de adaptación [4]. Para el plano seleccionado, la distancia de 0.14  $\lambda$  proporcionó la mejor adaptación de impedancias, con la absorción más alta en la cabeza humana. Se encontró un máximo local de potencia reflejada por el modelo de cabeza a una distancia de 0.1  $\lambda$ . La potencia absorbida por el modelo a la distancia de 0.14  $\lambda$  es

aproximadamente tres veces la que a  $0.1 \lambda$ , a pesar de estar más lejos del dipolo. La TAE de pico se representa en la Fig. 2 para las distancias entre el dipolo y la cabeza de  $0.1 \lambda$  y  $0.14 \lambda$ . La Fig. 3 muestra los incrementos de temperatura resultantes del escenario de exposición de peor caso.

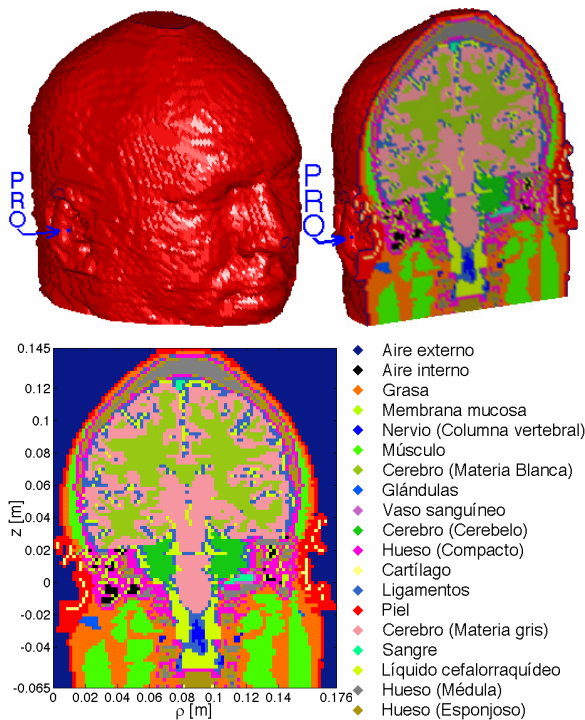


Fig. 1. Modelo de cabeza humana del PHV (arriba), plano coronal conteniendo al PRO y leyenda (abajo).

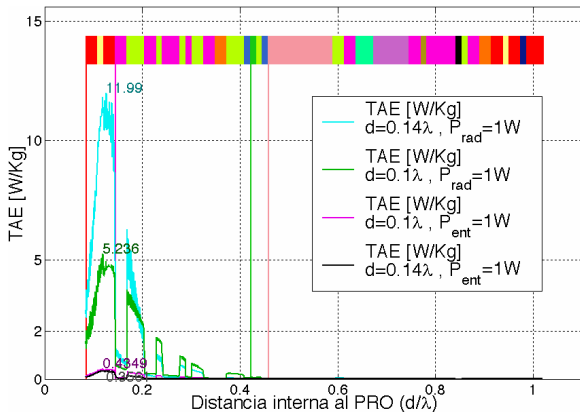


Fig. 2. TAE para los tejidos encontrados tras el PRO.

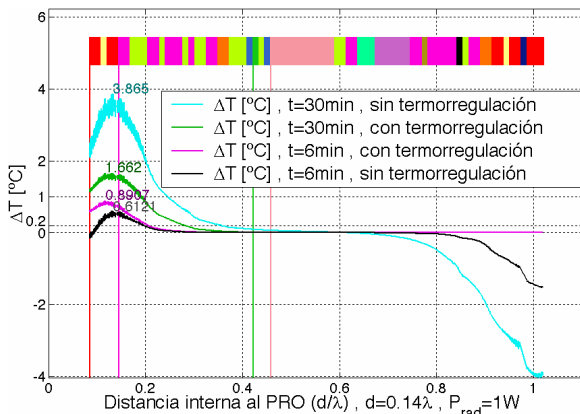


Fig. 3. Incremento de temperatura asociados, debido a la TAE más alta ( $d = 0.14 \lambda, P_{rad} = 1 W$ ).

Los resultados se presentan para los tejidos encontrados tras el PRO en una línea perpendicular al modelo de cabeza [4], tras 6 y 30 minutos de tiempo de exposición, con y sin termorregulación. La Fig. 2 muestra el abrupto descenso de la TAE de pico tras el cráneo. A la distancia de adaptación ( $0.14 \lambda$ ), la TAE tras el cráneo es menor que a otras distancias. El cráneo actúa como protector electromagnético y protege al cerebro de la TAE [5], tanto por su baja conductividad térmica y alta densidad, como por hacer que la TAE decrezca aún más en el cerebro cuando la cabeza está adaptada a la fuente. En el cerebro, los incrementos de temperatura se mantuvieron por debajo de los  $0.2 \text{ }^{\circ}C$  (por debajo del umbral que provoca efectos nocivos), aun cuando la TAE superase las restricciones básicas vigentes, lo que refuerza la validez de estas restricciones.

## 4 Conclusiones

A pesar del objetivo de las directrices de seguridad internacional de evitar excesivo calentamiento de los tejidos, los límites de seguridad actuales se derivan indirectamente, con parámetros dependientes del campo EM. La combinación de la exposición a campo EM con la respuesta termorregulatoria humana reafirma la naturaleza protectora del cráneo, que sufre incrementos de temperatura elevados y evita que el calor sea transferido al cerebro. La adopción de una restricción básica que combine el incremento de temperatura junto con los actuales límites de TAE, podría ser más precisa para el escenario de exposición del ser humano a campo EM.

## Agradecimientos

A la Fundación Séneca, por haber financiado parcialmente esta investigación.

## Referencias

- [1] Lin, J.C., "Safety standards for human exposure to radio frequency radiation and their biological rationale", IEE Microwave magazine, pp. 22-26, Dec. 2003.
- [2] Gabriel, C., "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies", Brooks Air Force, Brooks AFB, TX, Tech. Rep. AL/OE-TR-1996-0037, 1996.
- [3] Pennes, H.H., "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in the Resting Human Forearm", J. of Applied Physiology, Vol. 1, pp. 93-102, 1948.
- [4] Christ, A. et al., "The dependence of electromagnetic far-field absorption on body tissue composition in the frequency range from 300 MHz to 6 GHz", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 54, no.5, pp. 2188-2195, 2006.
- [5] García-Fernández, M. A. et al., "Thermoregulatory Response to Electromagnetic Plane-Wave Exposure at 900 MHz", Proceedings of The European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), p.657.1, Nov. 2006.